

NOTA 1116

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

INVLOED VAN GRONDWATERONTTREKKING VOOR BEREGENING  
EN DRINKWATER OP DE GRONDWATERSTAND

dr. L.F. Ernst en dr. R.A. Feddes

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

De hoeveelheid grondwater die voor diverse doeleinden wordt onttrokken neemt voortdurend toe en heeft tot gevolg dat de grondwaterstand een daling heeft ondergaan. De grootte van deze daling is van belang voor de landbouw, omdat gewasopbrengst en grondwater-spiegeldiepte onder Nederlandsd omstandigheden een duidelijk verband vertoont.

Grondwateronttrekking vindt plaats ten behoeve van verschillende belangen en groepen. Zo onttrekt de landbouw grondwater voor beregening, de drinkwatermaatschappij voor huishoudelijke doeleinden en de industrie onder meer voor koeling. In het onderstaande beperken we ons tot de eerste twee groepen.

In een situatie z o n d e r o n t t r e k k i n g vertoont de grondwaterstand gemiddeld genomen, een sinusachtig verloop met de tijd. Deze tijdsafhankelijkheid is te verklaren uit het feit dat de neerslag per maand genomen gemiddeld vrij goed constant is en de verdamping (in samenhang met de zonnestraling) een sinusvormig verloop met de tijd heeft. Verder moet hierbij in rekening worden gebracht dat het verband grondwaterstand-afvoer in het algemeen niet-lineair is, maar voor de hoge zandgronden in Z.O.-Nederland met goede benadering wel als rechtlijnig mag worden beschouwd.

Voor een aantal gebieden met uiteenlopend relief is in fig. 1 het verband grondwaterstand-afvoer geschetst. Het meest voorkomende grondwater-traject voor de verschillende gebieden is aangegeven door de volgetrokken lijnen. Uit fig. 1 blijkt dat de hoge zandgronden (curven 4, 5 en 6) bij grondwaterstanden dieper dan 75 cm -m.v., de  $U(h)$  relatie bij benadering lineair is. De drainageweerstand  $\gamma$

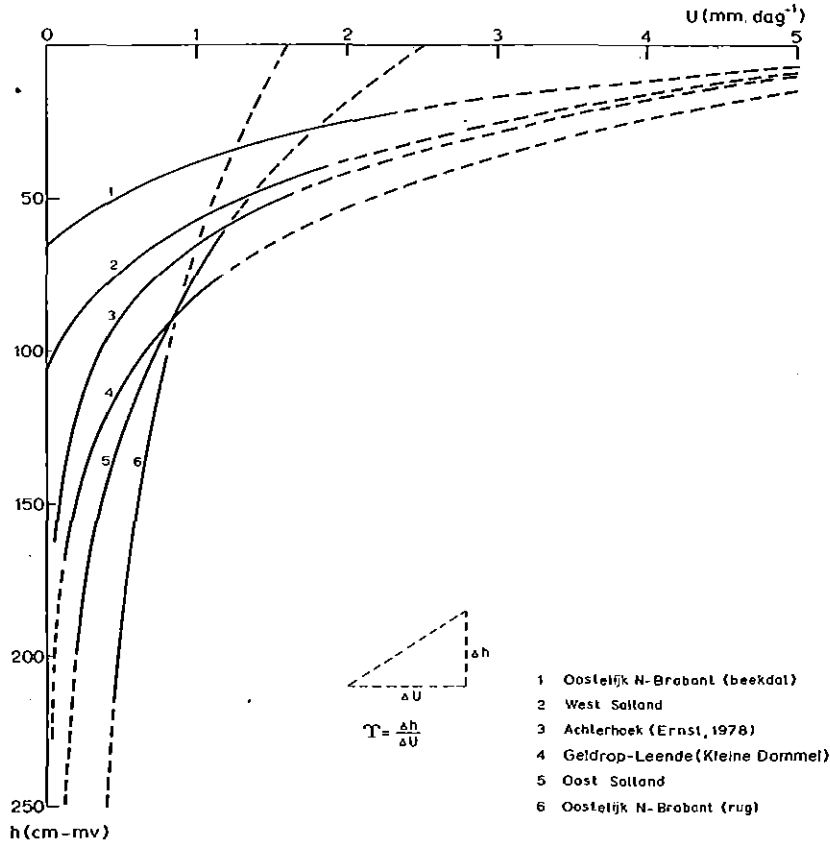


Fig. 1. Afvoer  $U$  als functie van de grondwaterstandsdiepte  $h$  voor een aantal gebieden in Nederland

kan uit fig. 1 worden afgeleid als de helling van de kromme:  
 $\gamma = \Delta h / \Delta U$ . Dit geeft voor de curven 4, 5 en 6 respectievelijk  $\gamma$ -waarden van 900, 1500 en 3300 dagen.

Het grondwaterstandsverloop zonder onttrekking  $h(t)$ , kan dan over een jaar worden beschreven als:

$$h(t) = \bar{h} + h_a \sin 2\pi \left( \frac{t-t_n}{365} \right) \quad (1)$$

waarin:

$\bar{h}$  = gemiddelde grondwaterstand, i.e.  $(\bar{p} - \bar{E})\gamma$ , waarin  $\bar{p}$  en  $\bar{E}$  zijn respectievelijk de gemiddelde jaarlijkse neerslag en verdamping;  $\bar{p} - \bar{E} = 705 - 485 = 220 \text{ mm.jaar}^{-1}$ .

$h_a$  = de amplitude van de grondwaterstand

$t_n$  = na.ijlingstijd

Voor de amplitude  $h_a$  geldt:

$$h_a = \frac{(\bar{P} - \bar{E})_a \gamma}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi\mu}{365} \frac{\gamma}{Y}\right)^2}} \quad (2)$$

waarin  $\mu$  is de bergingscoëfficiënt ( $\mu \approx 0,1$  voor middelfijn zand en  $\mu \approx 0,2$  voor matig grof zand).

Voor de naijling geldt:

$$\operatorname{tg} \left( \frac{2\pi t}{365} n \right) = \frac{2\pi\mu\gamma}{365} \quad (3)$$

Met behulp van verg. (1), (2) en (3) is het grondwaterstandsverloop bij een constante  $\mu$  en  $\gamma$  te berekenen. Voor zover de functie  $U(h)$  duidelijk niet lineair is kan het gehele verloop stap voor stap worden berekend. Een voorbeeld van een dergelijke numerieke berekening is weergegeven in fig. 2.

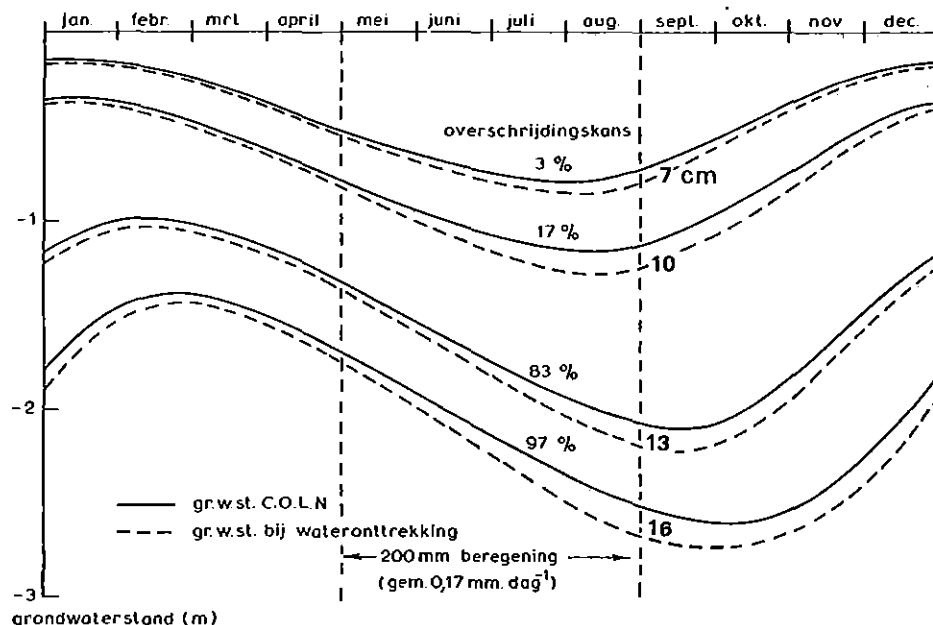


Fig. 2. Voorbeeld van berekend grondwaterstandsverloop zonder grondwateronttrekking (getrokken lijnen) en met onttrekking voor beregening (onderbroken lijnen) voor een gebied in Noord-Brabant (naar ERNST, 1976)

Hier is het verloop van de grondwaterstand (getrokken lijnen) getekend voor verschillende combinaties van zomer/wintergrondwaterstanden zoals die gegeven zijn in het COLN-rapport van N. Brabant (1958). Een overschrijdingskans van 17% wil zeggen dat in 17% van het gebied de gemiddelde grondwaterstand  $\left[ \frac{1}{2}(h_{\text{winter}} + h_{\text{zomer}}) \right]$  ondieper is dan  $\frac{1}{2}(35+115) = 75 \text{ cm - m.v.}$

Nemen we aan dat in N.Brabant per 150 ha één beregeningsonttrekingspunt voorkomt (DE WILDE, 1977, tabel 2 Noord Brabant), waar in 120 dagen 30 000 m<sup>3</sup> water wordt opgepompt. De dagelijkse onttrekking is 250 m<sup>3</sup>.dag<sup>-1</sup>. Per oppervlakte eenheid is dit 0,167 mm.dag<sup>-1</sup>. De totale onttrekking per opp. eenheid is 20 mm. Indien 10% van het gebied van water wordt voorzien, wordt dus over de bergende percelen een jaarlijkse beregening van 200 mm gegeven.

Bij grondwateronttrekking voor beregening met betrekkelijk geringe intensiteiten over een relatief groot aantal punten, kan worden aangenomen dat een diffuse onttrekking plaatsvindt.

Bij een diffuse onttrekking en lineaire U(h) relatie (fig. 1) kunnen we nu voor de beregeningsperiode (4 maanden) ter berekening van de grondwaterstandsverandering de volgende formule toepassen:

$$h(t) = U_b \gamma \left( 1 - e^{-\frac{t}{\mu \gamma}} \right) \quad (4)$$

waarin

$$U_b = \frac{\text{beregeninggift}}{\text{groeiperiode}} \times \frac{\text{beregend oppervlak}}{\text{totaal oppervlak}},$$

en voor de periode zonder kunstmatige beregening de formule

$$h(t) = h(0) e^{-\frac{t}{\mu \gamma}} \quad (5)$$

Het resultaat van de op deze manier berekende grondwaterstandsverlaging staat weergegeven in fig. 2. Het blijkt dat eind augustus het effect van beregening op de grondwaterstand varieert van 7 cm daling bij de relatief lage zandgronden (3% curve) tot 16 cm bij de hoge zandgronden (97% curve).

Bij grondwateronttrekking voor de drinkwatervoorziening met grote debieten per

waterwinplaats, welke debieten van zomer tot winter nauwelijks variëren, worden grote trechtervormige verlagingen in de grondwaterstand veroorzaakt. De verlaging in het centrum kan hierbij enkele meters bedragen. De verlaging kan zich over relatief grote afstand uitstrekken variërend in de orde van grootte van enige honderden meters tot enkele kilometers bij de grote waterwinplaatsen.

Het verlagingsspatroon wordt onder andere beïnvloed door het aantal lagen (slecht/goed doorlatend) en de diepte van de watervoerende laag waarin de onttrekking plaats vindt. Bij onttrekking onder een slecht doorlatende laag wordt de verlaging zodanig vlakker dat amper van een trechtervormige verlaging kan worden gesproken. Een dergelijke toestand wordt bijvoorbeeld in het Westen van Noord Brabant gevonden. Voor Oostelijk Noord-Brabant, Noord Limburg, de Achterhoek en Salland kan de geo-hydrologische toestand worden geschematiseerd tot een enkele watervoerende laag afgedekt door fijn zand alleen of door fijn zand met klei- en leemlagen. Karakteriseren we de situatie met een drainageweerstand  $\underline{\gamma} = 900$  dagen, een verticale weerstand van de afdekkende laag  $c = 300$  dagen en een doorlaatvermogen van de watervoerende laag  $KD = 1500 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$ . Stellen we de onttrekking  $Q_0 = 8 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$ . Voor de stijghoogteverandering  $\phi$  in de watervoerende laag kunnen we als functie van de afstand  $r$  tot de geschematiseerde enkelvoudige verticale put schrijven (ERNST, 1971):

$$\phi(r) = \frac{Q_0}{2\pi KD} K_0 \left( \frac{r}{\sqrt{KD(c + \underline{\gamma})}} \right) \quad (6)$$

waarin  $K_0$  is een gemodificeerde Besselfunctie van de orde 0 (zie Versl. Med. Cie. Hydr. Onderz. TNO, no.10). Voor de grondwaterspiegelverlaging  $h$  als functie van de afstand  $r$  kunnen we schrijven (ERNST, 1971):

$$h(r) = \frac{\alpha \underline{\gamma}}{\underline{\gamma} + c} \phi(r) \quad (7)$$

waarin  $\alpha$  is een reductiecoëfficiënt afhankelijk van de grondwaterspiegel ( $\alpha \approx 0,8$ ). Substitutie van bovengenoemde constanten in verg. (6) en (7) levert

$$\phi(r) = 2,326 K_0 \left( \frac{r}{1341,6} \right) \quad \text{en} \quad h(r) = 0,6 \phi(r)$$

De grafische voorstelling van  $\phi(r)$  en  $h(r)$  is met dubbel logaritmisch assenstelsel) weergegeven in fig. 3. De verlagingen van meer dan 2 m zoals berekend met onttrekking door een enkelvoudige put zijn niet reëel, omdat in werkelijkheid elke waterwinplaats bestaat uit meerdere putten.

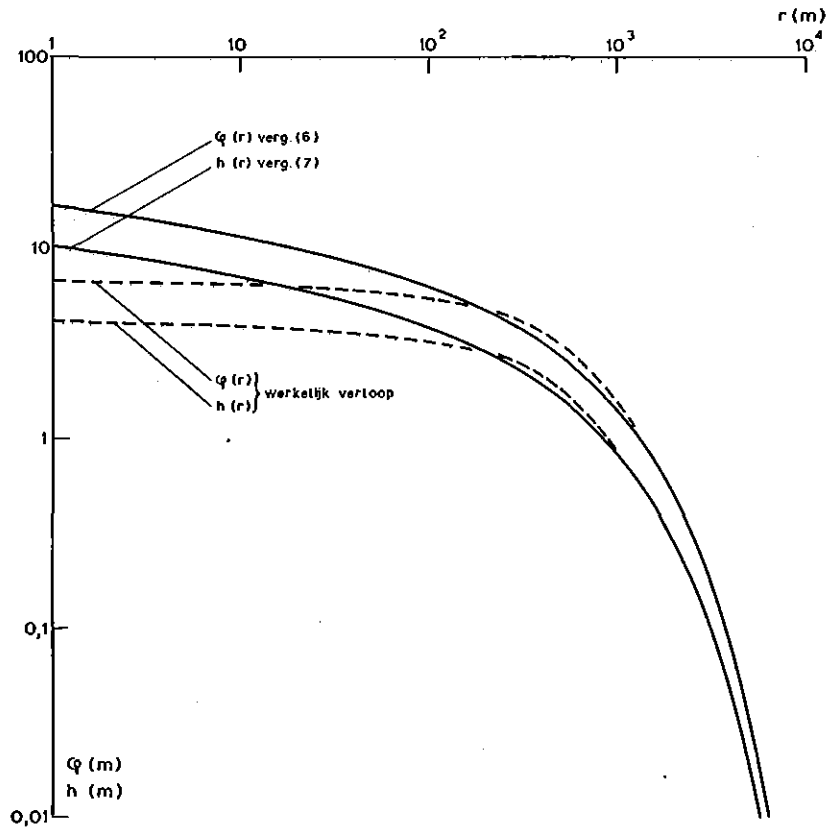


Fig. 3. Berekend en werkelijk verloop van de stijghoogteveranderingen voor het diepe water  $\phi$  en het freatische water  $h$  als functie van de afstand tot het centrum van de onttrekking

Het berekende verloop in fig. 3 is vervangen door het werkelijk verloop (onderbroken krommen), dat op analoge manier verkregen kan worden door optelling van een aantal kleine trechters.

In fig. 4 is de verlaging van het freatisch vlak tengevolge van drinkwatervoorziening (afgeleid uit fig. 3) en tengevolge van berekening op 1 mei en 1 augustus (afgeleid uit fig. 2) uitgezet. Stellen we de grootte van het waterwingebied op  $A = 10\,000$  ha, dan is een procentuele verdeling op te maken (onderste horizontale as in fig. 4).

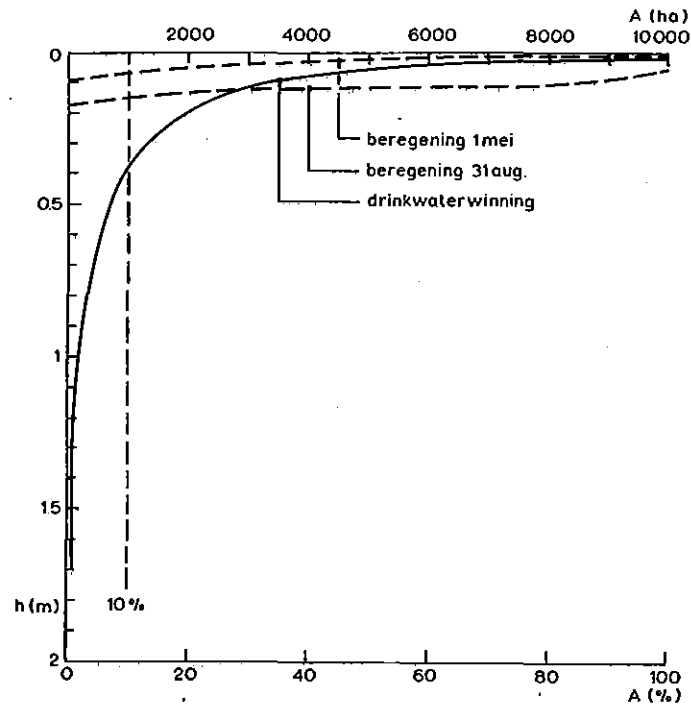


Fig. 4. Grondwaterstandsdingen als gevolg van drinkwaterwinning en berekening in relatie tot gebiedsgrootte (ha en %).

Daar de meeste waterwinplaatsen in de hogere gebieden liggen, kunnen de curven voor berekening worden geïnterpreteerd als verlagingen die in de hoge zandgronden (links in de figuur) wat sterker zullen zijn dan in de lage zandgronden (rechts in de figuur)

Uit fig. 4 is de volgende tabel af te leiden.

Tabel 1. Relatieve overschrijdingskans van grondwaterstandsdingen tengevolge van drinkwaterwinning (onafhankelijk van het seizoen) en berekening (gemiddelde waarde over het groeiseizoen)

Rel. Overschrijdingskans (%)	Grondwaterstandsding bij	
	Drinkwaterwinning (cm)	Berekening (cm)
5	62	12
10	37	11
20	17	9
40	7,5	7,5
60	4	6,5
80	2	5,5
100	1,5	3,5



Voorbeeld: 10% van het beschouwde gebied krijgt tengevolge van de gegeven drinkwaterwinning een grondwaterstands daling groter dan 37 cm, tengevolge van de gegeven berekening een daling groter dan 11 cm.

Uit fig. 7 van ERNST (1971), welke is afgeleid uit lysimeter-onderzoekingen, volgt dat voor zandgrond, bij grondwaterstanden tussen 100 en 200 cm -mv, 1 cm grondwaterstandsverlaging gemiddeld overeenkomt met 0,6 mm reductie in verdamping over de periode 1 juni - 1 oktober. Voor de periode 1 mei - 1 september zal dit iets hoger liggen en wel in evenredigheid met  $E_0$  - KNMI gegevens: 0,7 mm. In 10% van het beschouwde gebied zal de grondwaterstandsverlaging tengevolge van drinkwaterwinning dus een reductie in verdamping geven van meer dan  $37 \times 0,7 = 26$  mm. De grondwaterstandsverlaging tengevolge van berekening geeft een reductie van meer dan  $11 \times 0,7 = 8$  mm.

In fig. 5 is nog eens uitgezet wat deze waarden betekenen voor de grondwaterstands daling in een willekeurig gebied (oppervlakte = B) met een grondwaterstand, die 10% kans van overschrijding geeft.

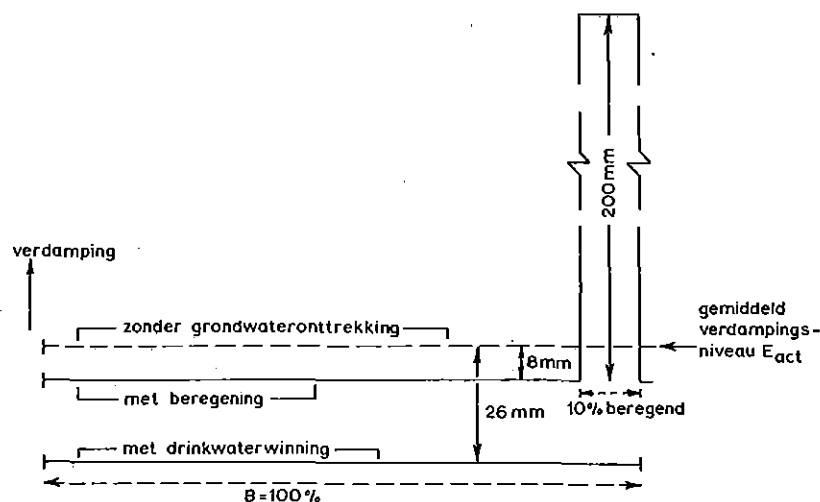


Fig. 5. Veranderingen in verdamping van een gebied met 10% overschrijdingskans voor de grondwaterstand, als gevolg van grondwateronttrekking voor berekening, respectievelijk drinkwatervoorziening

Uit fig. 5 wordt duidelijk dat in het beregende deel (10% van het totale oppervlak) van een gebied met 10% overschrijdingskans door 11 cm grondwaterstandsaling en 200 mm beregening er een  $200 - 8 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$  water voor het gewas extra ter beschikking komt. Dit houdt wel in dat voor de overige 90% van het gebied hierdoor een daling in het waterverbruik van 8 mm zal ontstaan. Dus naast een belangrijk voordeel voor het beregende gebied, zal een niet te verwaarlozen nadeel voor het overige gebied ontstaan. Tegelijk wordt in fig. 5 getoond, dat in het 10% punt bij de veronderstelde onttrekking voor de drinkwatervoorziening een nog grotere achteruitgang in het waterverbruik geeft (26 mm).

## LITERATUUR

- ERNST, L.F., 1971. Analysis of groundwater flow to deep wells in areas with a non-linear function for the sub surface drainage J. of Hydr. 14 : 158-180
- \_\_\_\_\_ 1976. Grondwateronttrekking. Jaarverslag ICW : 13-14
- \_\_\_\_\_ 1978. Drainage of undulating sandy soils with high ground-watertables. I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio J. of Hydr. 39 : 1-30
- KOUWE, J.J. en B. VRIJHOF, 1958. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Noord-Brabant COLN-TNO : 11, 239 pp
- \*VERSLAGEN MED. CIE. HYDR. ONDERZ. TNO, 10. Steady flow of groundwater towards wells. 179 pp
- WILDE, J.G.S. DE en TH.J. LINTHORST, 1977. Berekening en bevoeiing in Nederland in 1976. Nota ICW 973, 31 pp